



УДК 621.165

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТОПОРНОГО КЛАПАНА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ С УЧЕТОМ ПЛАСТИЧНОСТИ МАТЕРИАЛА

PECULIARITIES OF SIMULATION OF THERMO-STRESSED STATE OF STOP VALVE OF STEAM TURBINE REGISTRATION PLASTICITY OF MATERIAL

Голошумова Вера Николаевна, канд. техн. наук, доцент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: turbine66@mail.ru, Тел.: (343)375-48-51

Бродов Юрий Миронович, д-р. техн. наук, профессор каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: turbine66@mail.ru, Тел.: (343)375-48-51

Тимшина Яна Сергеевна, бакалавр каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: turbine66@mail.ru, Тел.: (343)375-48-51

Vera N. Goloshumova, Cand. Tech. Sci., Associate Professor. "Turbines and Engines", Ural Federal University named after the first President of Russia BN. Yeltsin, Russia, 620002, city of Ekaterinburg, ul. Mira, 19. E-mail: turbine66@mail.ru, Phone: (343) 375-48-51

Yuri M. Brody, Dr.. Tech. In Science, Professor of the Department. "Turbines and Engines", Ural Federal University named after the first President of Russia BN. Yeltsin, Russia, 620002, city of Ekaterinburg, ul. Mira, 19. E-mail: turbine66@mail.ru, Phone: (343) 375-48-51

Yana S. Timshina, bachelor of science. "Turbines and Engines", Ural Federal University named after the first President of Russia BN. Yeltsin, Russia, 620002, city of Ekaterinburg, ul. Mira, 19. E-mail: turbine66@mail.ru, Phone: (343) 375-48-51

Аннотация: Надежная работоспособность стопорного клапана определяет работоспособность всего энергоблока. Приводится последовательность проведения расчетов и анализа термонапряженного состояния с учетом пластичности на примере стопорного клапана теплофикационной паровой турбины Т-110/120-130 УТЗ. Доказана необходимость проведения нелинейных расчетов с учетом пластичности по билинейно диаграмме деформирования для этапа прогрева стопорного клапана во время пуска паровой. Выполнено два варианта расчетов: ограничений в задаче напряженно-деформированного состояния стопорного клапана: в первом: заданы ограничения по перемещению внутренней поверхности канала для штока клапана и в зоне приварки дренажа; во втором задана жесткая заделкой по крышке стопорного клапана для моделирования деформации канала для перемещения штока.

Abstract: The reliable performance of the shut-off valve determines the operability of the entire power unit. The sequence of calculation and analysis of the thermally stressed state with allowance for ductility is given on the example of the stop valve of the steam turbine T-110 / 120-130 UTZ. The necessity of carrying out nonlinear calculations taking into account plasticity according to the bilinear deformation diagram for the stage of heating the stop valve during the start of the steam is proved. Two variants of calculations are fulfilled: constraints in the problem of the stress-strain state of the stop valve: in the first: restrictions are set on the movement of the internal surface of the channel for the valve stem and in the zone of welding of the drainage; In the second one, a hard seal on the cover of the stop valve is designed to simulate the deformation of the channel for moving the rod.

Ключевые слова: стопорный клапан; паровая турбина; пуск; термонапряженное состояние; билинейная диаграмма деформирования; напряжение; деформация; перемещения.

Keywords: stop valve; steam turbine; start; thermo-stressed state; bilinear strain diagram; stress; deformation; displacement.

ВВЕДЕНИЕ

Для теплофикационных турбин докритических параметров УТЗ ряда семейств Т-110/120-130 (Т-110), Т-185/210-130/15, ПТ-140/165-130/15, Р-100-130/15 [1] используются унифицированный стопорный клапан (СК).

Надежная работоспособность стопорного клапана (СК) должна быть выше регулирующих клапанов, она определяет работоспособность всего энергоблока и это не вызывает сомнений. Назначение СК паровой турбины автоматически закрыть доступ пара к турбине, если число оборотов ротора превысит допустимое на 10...12%.

СК, например, в компоновке паровой турбины Т-110 [2] размещают в стороне от турбины под площадкой обслуживания. Над площадкой обслуживания выступает только фланец крышки, на который устанавливается автоматический затвор, управляющий клапаном. Корпус СК сварной из трех литых частей крепится на гибкие «листы-опоры», образуя в её центре относительно фундамента турбоустановки и не препятствуя тепловому расширению корпуса.

Зависание (заедание) СК в открытом положении при медленном закрытии системой регулирования

это наиболее частая причина тяжелых аварий с турбоагрегатами. Это возможно, если во время длительной работы СК возникнет случай «сварки» штока с буксой по пояску штока. Поясок на штоке предусмотрен для исключения протечек пара.

Во время плановых ревизий турбин нередко выявляют трещины в зоне углового стыкового шва соединяющего корпус СК и трубопровод свежего пара. Причина трещинообразования скрыта в условиях эксплуатации.

Для определения критериев надежности эксплуатации актуальной является задача оценки прочности СК с учетом ползучести материала.

В статье приводится последовательность проведения расчетов и анализа температурных деформаций с использованием упруго-идеальнопластической, билинейной диаграммы «напряжение деформация» на примере СК теплофикационной паровой турбины Т-110.

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ВО ВРЕМЯ ПУСКА

Проведен расчет нестационарного температурного поля по графику прогрева с рис 1.

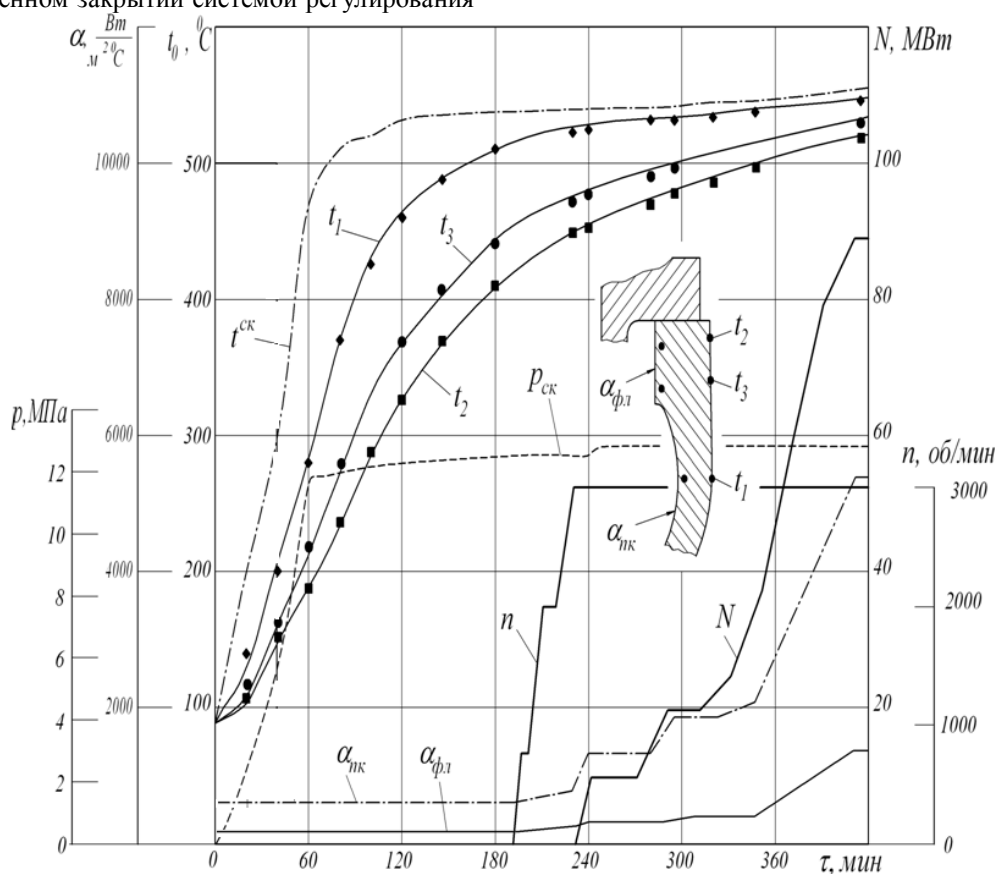


Рис. 1. Результаты экспериментального пуска из холодного состояния турбины Т-110/120-130 на одной из ТЭЦ

Для идентификации расчетной модели были использованы экспериментальные данные пуска из холодного состояния турбины Т-110 на одной

из ТЭЦ, температуры измерялись термомпарами в шести точках СК. На рис 1 приведена схема замеров температур металла корпуса СК, и

обозначения: $\alpha_{\text{фл}}$, $\alpha_{\text{пк}}$ – коэффициенты теплоотдачи от пара к фланцу и паровой коробке; $t^{\text{СК}}$ – температура пара в СК; $t_{\text{кр}}$ – температура крышки СК; $p_{\text{ск}}$ – давление в СК; t_1 , t_2 , t_3 – экспериментальные точки замера температур металла; N – мощность турбины; n – частота вращения ротора; Геометрическая модель была принята осесимметричной, она приведена на рис.2, а t_1, t_2, t_3 – экспериментальные точки для верификации расчетов температурного поля.

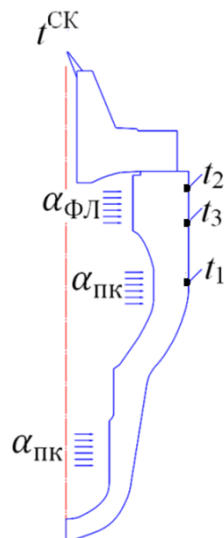


Рис. 2. Осесимметричная схема стопорного клапана для моделирования температурного поля;

Расчет температурных полей производился при учете зависимости коэффициента теплопроводности λ , теплоемкости C , плотности ρ от температуры для стали 15Х1М1ФЛ, из которой изготовлен СК. При расчете температурного поля применены граничные условия третьего и первого рода. Для нахождения коэффициентов теплоотдачи от пара к паровой коробке и фланцу использовались экспериментальные критериальные уравнения из [3] их значения приведены на рис.1:

$$Nu_{\text{пк}} = 0,027 Re^{0,8} Pr^{0,43} \quad (1)$$

$$Nu_{\text{фл}} = 0,006 Re^{0,8} Pr^{0,43} \quad (2)$$

где $Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$ – число Нуссельта (характеризует интенсивность процесса теплоотдачи на границе твердое тело-жидкость(пар)), $Re = \frac{dw}{\nu}$ – число Рейнольдса $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$ – число Прандтля, $w = \frac{G v_0}{f}$ – скорость пара; d – гидравлический диаметр; α – коэффициент теплопроводности, f – площадь сечения паропровода, v_0 – удельный объем рабочего тела, G – расход рабочего тела, ν – кинематическая вязкость. Сравнивая полученные результаты с экспериментальными замерами, сделан вывод о

том, что точность расчета температурного поля не менее 15 °С.

РАСЧЕТ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ С УЧЕТОМ ПЛАСТИЧНОСТИ ВО ВРЕМЯ ПРОГРЕВА

Анализ напряженно - деформированного состояния (НДС) СК является нелинейной задачей пластичности.

При расчете термонапряженного состояния корпуса СК результаты расчета температур в узлах конечно-элементной сетки из температурного анализа использовались в качестве нагрузки в задаче НДС.

Рассчитывали два варианта ограничений в НДС СК:

- в первом: заданы ограничения в 4 (четырех) узлах (в радиальном направлении $UX=0$): по каналу для штока клапана и в зоне приварки дренажа; моделировали нормальную эксплуатацию СК.
- во втором задана жесткая заделкой по крышке СК для моделирования деформации канала для перемещения штока СК (100 узлов); моделировали перекося буквы СК.

Решение любой нелинейной задачи является итерационным процессом и требует значительных вычислительных ресурсов. Поэтому вначале был выполнен статический расчет в линейной постановке для анализа НДС СК и оценки необходимости проведения дополнительных нелинейных расчетов. Значения полученных эквивалентных напряжений с использованием упругих свойств превысили предел текучести и предел прочности. За 60 минут напряжения возрастают и достигают наибольших значений $\sigma = 1888,9$ МПа (при закреплении по 4 узлам), что чрезвычайно превышает условный предел текучести, при котором остаточная деформация достигает 0,2% $\sigma_{0,2}^t = 304$ МПа.

Результаты приведены на рис. 3

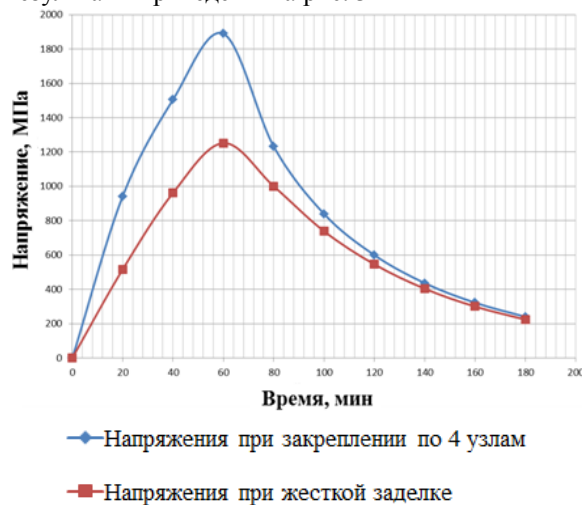


Рис. 3. Зависимость изменения напряжений без учета пластических деформаций во время прогрева стопорного клапана

Для получения достоверных результатов была задана модель свойств материала СК билинейная с кинематическим упрочнением. Модель билинейного упрочнения материала подразумевает наличие двух линейных участков зависимости между напряжениями и деформациями, один из которых отражает выполнение закона Гука и завершается в момент достижения материалом предела текучести; тангенс угла наклона второго участка намного

меньше аналогичного параметра для первого участка. На рис.4 приведено билинейное представление диаграммы «напряжение - деформация» при растяжении для стали 15Х1М1ФЛ полученное по справочным данным о пределе прочности, текучести, модуле упругости и Пуассона в зависимости от температуры. Результаты расчетов приведены на рис.5.

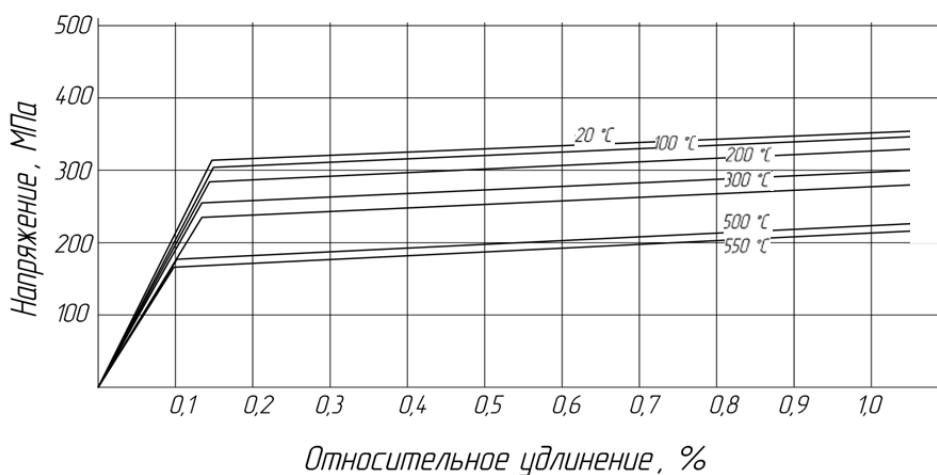


Рис.4. Билинейное представление диаграммы «напряжение - деформация» для стали 15Х1М1ФЛ

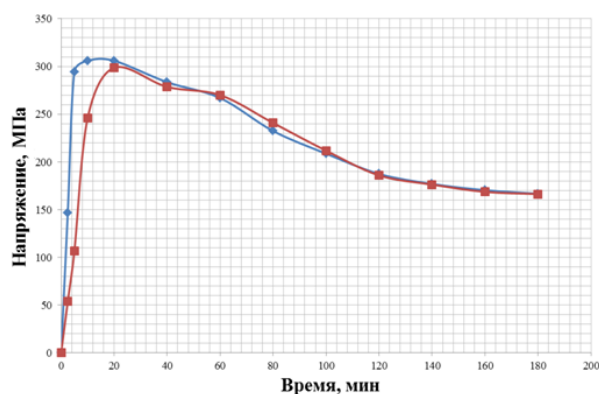


Рис. 5. Зависимость изменения напряжений без учета пластических деформаций во время прогрева стопорного клапана

Расчет температурных напряжений по осесимметричной модели СК показал, что максимальные напряжения во всех случаях находятся на внутренней поверхности корпуса в нижней части фланца (в зоне радиусного перехода фланца в паровую коробку).

Значение максимальных эквивалентных напряжений не превышают допустимые. В всех случаях их максимумы достигаются в течении 20 минут. За 20 минут напряжения стремительно увеличиваются: достигают наибольших значений $\sigma = 306$ МПа, затем монотонно уменьшаются в процессе прогрева СК.

В норме зазор между штоком и буксой должен быть в пределах 0,45...0,55мм.

В расчетах по второму варианту деформация буксы 0,68 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уральский турбинный завод. Паровые турбины. www.utz.ru/cgibin/articles/view.cgi?id=21
2. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода : Г. Д. Баринберг [и др.] ; под общ. ред. Ю. М. Бродова и В. В. Кортенко. - Екатеринбург : Чароид, 2007. - 459 с
3. Ивановский А.А. Определение условий теплообмена в стопорных клапанах турбин УТЗ с давлением свежего пара 12,8 МПа /А.А. Ивановский, В.Л. Похорилер www.rnhtc.ru > РНКТ-4 (2006) > Труды РНКТ-4. Том 8. Молодёжная секция